



## DESENVOLVIMENTO DE UMA APLICAÇÃO EM PYTHON PARA ANÁLISE DOS CICLOS DE SUJIDADE ANUAL E A EFICIÊNCIA DAS USINAS FOTOVOLTAICAS

Gabriel Campos Sampaio <sup>1</sup>; Felipe de Oliveira Luzzi <sup>2</sup> Diego Oliveira Miranda <sup>3</sup>

1 Gabriel Campos Sampaio (IFMG), Engenharia de Controle e Automação, IFMG Campus Sabará, Sabará- MG; [gabrielcar21@gmail.com](mailto:gabrielcar21@gmail.com)

2 Felipe de Oliveira Luzzi Pesquisador do IFMG, Campus Sabará; [felipe.luzzi@ifmg.edu.br](mailto:felipe.luzzi@ifmg.edu.br)

3 Diego Oliveira Miranda: Pesquisador do IFMG, Campus Sabará; [diego.miranda@ifmg.edu.br](mailto:diego.miranda@ifmg.edu.br)

### RESUMO

A energia solar fotovoltaica é uma fonte de energia renovável amplamente utilizada no mundo. No entanto, a sujidade acumulada nos painéis solares pode comprometer seu desempenho e eficiência. Este projeto teve como objetivo desenvolver uma ferramenta para identificar padrões sazonais de sujidade e avaliar o impacto na eficiência das usinas solares fotovoltaicas.

O estudo foi realizado uma das usinas solares do campus Sabará, com coleta de dados diários de geração, registros de procedimentos de limpeza e dados meteorológicos de períodos chuvosos, além de dados solarimétricos em loco coletados ao longo de três anos.

Com base nesse banco de dados, foi realizada uma análise para compreender a relação entre a sujidade dos painéis e o desempenho das usinas. Uma aplicação em Python foi utilizada para acessar informações registradas por inversores, sensores de temperatura e irradiação solar, avaliando a perda de eficiência e a necessidade de manutenção e limpeza dos painéis solares.

Como resultado, foi proposta a criação de um aplicativo que alerta o responsável pela manutenção sempre que a eficiência dos painéis atingir um patamar crítico devido à sujidade, indicando a necessidade de limpeza.

**PALAVRAS CHAVES: Energia, Fotovoltaica, Sujidade, Eficiência**

### INTRODUÇÃO:

A energia solar fotovoltaica tem se destacado como uma importante fonte de energia renovável, contribuindo para a redução da dependência de combustíveis fósseis e mitigando os impactos ambientais associados à geração de eletricidade. No entanto, as usinas de energia solar estão sujeitas a diversos desafios, sendo a sujidade acumulada nas superfícies dos painéis solares um dos principais

fatores que podem afetar sua eficiência e desempenho. Abaixo um exemplo típico de sujeira após o primeiro mês de estiagem em uma das nossas usinas.



**Figura 1: Foto de uma das usinas no primeiro mês de estiagem**

Autores como Bacher et al. (2018) destaca a influência da sujeira em ambientes desérticos, enquanto Mohanraj et al. (2019) e Mukherjee et al. (2020) oferecem revisões abrangentes sobre o impacto da acumulação de poeira nos painéis solares. Esses estudos mostram perdas significativas de energia e redução na eficiência de conversão fotovoltaica. Marra, E.G mostra o percentual de degradação de geração relativa por sujeira por período de dois anos consecutivos, relacionando com efeitos de maior chuvas e limpeza.

No entanto esses mesmos autores indicam grande variabilidade nos valores destas perdas de eficiência necessitando o detalhamento das condições da usina, como inclinação, localidade frequência de chuva e tipo de particulado. Neste sentido este trabalho visa adequar as previsões teóricas com a realidade local.

## **METODOLOGIA:**

A usina analisada possui módulos Modelo CS6U-325P, de Potência nominal 325Wp fabricadas pela Canadian Solar. Consistindo em 63 módulos com 3 strings de 21 módulos ligados em série e sendo duas delas ligadas em um MPPT que as conecta em paralelo no inversor Growatt 17000TL3-S/20000TL3-S a outra string é ligada na outra entrada MPPT do Inversor. A área de módulos é de 116,56 m<sup>2</sup>. Os dados de temperatura e Irradiação solar vem do acesso aos dados ambientais do inversor GoodWe GW12KLV-DT da outra usina mais recente. A escolha desses dados levou em consideração qual o banco estava mais completo em dados sem falhas devido a falhas na conexão com a rede durante os anos.

A eficiência do sistema fotovoltaico é uma métrica que indica quão bem o sistema está convertendo a radiação solar disponível em energia elétrica. A eficiência (%) é calculada utilizando a seguinte fórmula:

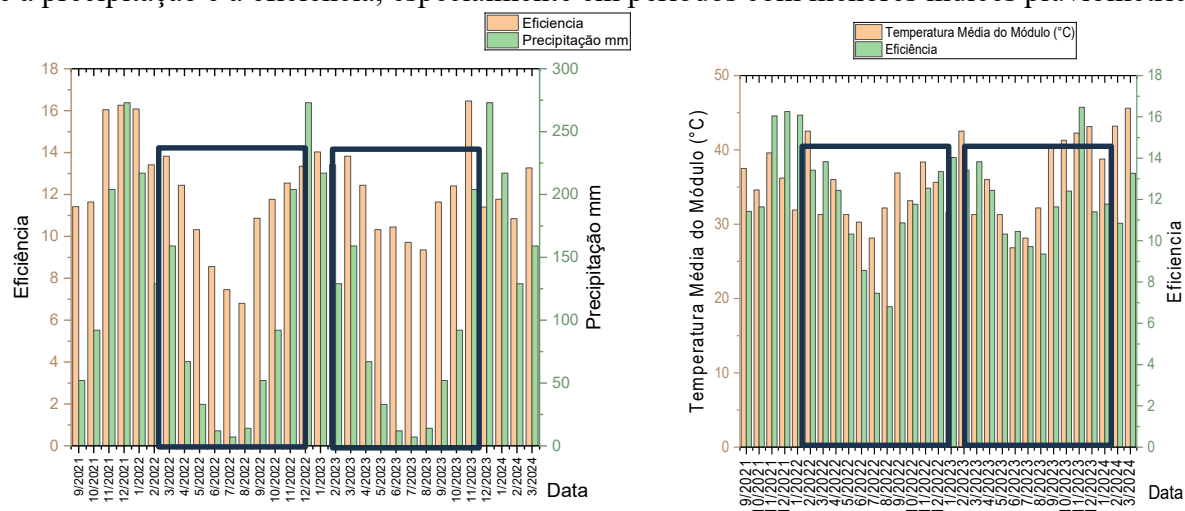
$$Eficiência (\%) = \left( \frac{Energia Gerada (kWh)}{Radiação \left( \frac{kWh}{m^2} \right) \times Área (m^2)} \right) \times 100$$

O trabalho iniciou-se com análises preliminares para identificar os fatores que impactam o desempenho do sistema fotovoltaico. Em todos os gráficos de eficiência usou-se dados de Irradiação do piranômetro completados quando necessários por dados históricos disponibilizados no site da Cresesb.

Essas análises mostraram que a sujidade nos módulos era o fator preponderante durante períodos de baixos índices pluviométricos, identificados por meio do histórico de dados coletados em estações meteorológicas. Com base nesses resultados, foi desenvolvida uma abordagem para monitoramento detalhado dos sistemas fotovoltaicos. Os dados operacionais foram coletados usando APIs (Application Programming Interface) dos inversores fotovoltaicos Growatt e GoodWe, utilizando a biblioteca requests para requisições HTTP, capturando informações como geração de energia, radiação solar e temperaturas. Em seguida, os dados foram processados e analisados com pandas, permitindo o cálculo de métricas como eficiência energética e médias de temperatura. A visualização dos dados foi implementada em uma interface interativa criada com Dash, com o suporte de Dash Bootstrap Components para estilização e responsividade. A interface inclui gráficos, tabelas e indicadores de desempenho, com filtros para análise por ano e mês, facilitando a identificação de padrões e auxiliando no monitoramento do impacto da sujidade em diferentes condições climáticas.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES:

No gráfico 2 (a), são apresentados os dados de eficiência da usina fotovoltaica e a precipitação mensal (mm) para o período de agosto de 2021 a agosto de 2023. Observa-se que há uma relação entre a precipitação e a eficiência, especialmente em períodos com menores índices pluviométricos



**Figura 2: (a) Gráfico Eficiência x Precipitação e (b) Geração x temperatura do Módulo**

O gráfico demonstra também a relação entre a temperatura média dos módulos fotovoltaicos e a eficiência da usina nos períodos analisados que seria aqui um fator de maior eficiência dos períodos de inverno. É importante destacar que a diferença de temperatura nos períodos de inverno de 2022 e

2023 não foi significativa a ponto de impactar a eficiência entre os anos. Percebeu-se que a eficiência deveria melhorar devido a redução de temperatura do período de inverno, mas a sujidade que visualmente percebemos é o fator mais preponderante.

Em 2022 não foi feita a manutenção com a limpeza adequada dos módulos no período de inverso, o que melhorou no período de 2023. O que pode ser percebido pelos melhores valores de eficiência em 2023 podendo ainda haver melhorias na qualidade da limpeza, algo que serão feitos em trabalhos futuros.

A partir desta análise trabalhou-se em um Dashboard em Python integrando os servidores dos inversores Growatt e GoodWe, utilizando suas APIs oficiais de forma a criar uma ferramenta de análise das condições da usina com um alerta visual para o caso de queda de eficiência abaixo de um determinado valor que neste caso foi colocada em 10% indicando a necessidade urgente de limpeza dos módulos. A imagem abaixo mostra o layout desta aplicação:

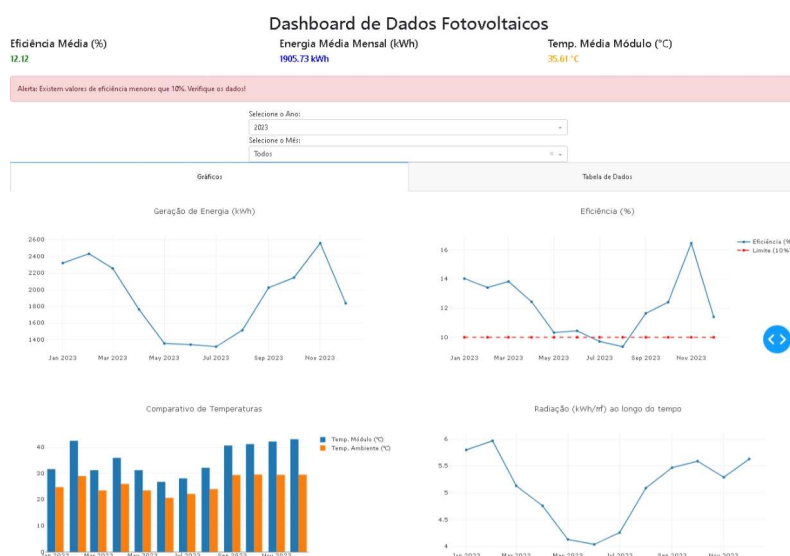


Figura 3: Aplicação em Python com os indicadores e alerta de eficiência abaixo do indicado

## CONCLUSÕES:

A sujidade acumulada nos módulos fotovoltaicos foi identificada como um dos principais fatores que comprometem a eficiência das usinas solares, especialmente durante períodos de baixa precipitação. Este estudo demonstrou a importância de integrar dados operacionais com análises climáticas para compreender os impactos locais e propor soluções práticas.



A ferramenta desenvolvida, um dashboard interativo em Python, provou ser eficaz no monitoramento contínuo da eficiência das usinas. Ao emitir alertas visuais sempre que os níveis críticos de desempenho são atingidos, o sistema facilita a tomada de decisão quanto à manutenção e limpeza dos módulos, otimizando a operação das usinas e minimizando perdas energéticas.

Além disso, os resultados reforçam a necessidade de um planejamento estratégico para manutenção preventiva e corretiva, considerando características sazonais e climáticas específicas de cada localidade. A abordagem apresentada neste trabalho contribui significativamente para a gestão eficiente de usinas fotovoltaicas e pode servir de base para a implementação de soluções similares em outras instalações, ampliando a confiabilidade e a rentabilidade da energia solar no Brasil e no mundo. Como ponto de atenção neste trabalho percebemos que o número de requisições aos bancos de dados é limitado e isso deve ser ajustado de forma a evitar suspensão do acesso aos dados.

### REFERÊNCIAS:

CEPEL - CENTRO DE PESQUISAS DE ENERGIA ELÉTRICA. CRESESB - Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito. Disponível em: <https://cresesb.cepel.br/>. Acesso em: 3 jan. 2024.

GOODWE. GoodWe API Documentation. Disponível em: <https://goodwe.com/developer-center/>. Acesso em: 16 nov. 2024.

GROWATT. Growatt API Documentation. Disponível em: <https://server.growatt.com/>. Acesso em: 16 nov. 2024.

MARRA, E. G. Análise comparativa dos efeitos da sujidade e do sombreamento em sistemas fotovoltaicos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA SOLAR, 6., 2016, Recife. Anais [...]. Recife: ABENS, 2016. Disponível em: <https://anaiscbens.emnuvens.com.br/cbens/article/download/1110/1113/1115>. Acesso em: 16 nov. 2024.

MOHANRAJ, M.; et al. Impact of Dust Accumulation on the Performance of Solar Photovoltaic Panels: A Review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 105, p. 530-543, 2019.

MUKHERJEE, A.; et al. Performance Analysis of Dust Accumulation on Photovoltaic Panels: A Comprehensive Review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 130, 109987, 2020.